

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ, МОЛОДЕЖИ И СПОРТА
УКРАИНЫ**

**ХАРЬКОВСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ ГОРОДСКОГО
ХОЗЯЙСТВА**

В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПЕРЕХОДНЫХ И УСТАНОВИВШИХСЯ ПРОЦЕССОВ
В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

МОНОГРАФИЯ

Харьков

ХНАГХ

2013

УДК 621.314:004
ББК 31.264.5В635
Я31

Рецензенты:

Я. В. Щербак, д.т.н., проф., заведующий кафедрой автоматизированных систем
электрического транспорта Харьковской государственной академии
железнодорожного транспорта

Я. В. Омеляненко, д.т.н., проф., заведующий кафедрой электрического
транспорта и тепловозостроения Национального технического университета
«Харьковский политехнический институт»

Рекомендовано к печати Ученым советом
Харьковской национальной академии городского хозяйства,
протокол № 4 от 29.11.2012 г.

Ягуп В. Г.

Я31 Компьютерное моделирование переходных и установившихся
процессов в преобразователях электрической энергии: монография /
В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп; Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Х.: ХНАГХ,
2013. – 131 с.

ISBN 978-966-695-285-4

Монография посвящена задачам и методам исследования процессов в преобразователях параметров электроэнергии. Рассмотрены проблемы, возникающие при формировании уравнений динамических процессов с применением матричного исчисления и теории сигнальных графов. Даны рекомендации по преодолению проблем топологических вырождений и жесткости систем уравнений моделей. Описаны особенности построения пакета программ системы СИМПАТ, дано полное описание его структуры. Приведены примеры моделирования электромагнитных процессов в преобразователях различного функционального назначения.

Монография предназначена научным работникам и специалистам, работающим в области преобразования параметров электрической энергии, а также может быть полезна студентам, магистрантам и аспирантам электротехнического профиля.

**УДК 621.314:004
ББК 31.264.5В635**

ISBN 978-966-695-285-4

© В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп, 2013
© ХНАГХ, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СХЕМ	6
1.1 Характеристики силовых полупроводниковых приборов и их аппроксимация ...	6
1.2 Методы анализа преобразовательных схем	10
1.3 Алгоритмизация метода припасовывания	14
1.4 Определение моментов коммутации в преобразовательных схемах	23
2. АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СХЕМАХ	34
2.1 Формирование уравнений состояния преобразовательных схем	34
2.2 Численные методы решения уравнений состояния преобразовательных схем с помощью математических пакетов	36
2.3 Анализ переходного процесса в выпрямителе с фильтром при помощи математических пакетов	40
2.4 Анализ процесса пуска автономного инвертора тока с помощью математических пакетов	44
3. ПАКЕТ СИМПАТ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СХЕМ ..	49
3.1 Формирование уравнений преобразовательных схем с помощью сигнальных графов	49
3.2 Сигнальные графы вентильных схем и их преобразования	53
3.3 Формирование сигнального графа СПП в форме основного графа	55
3.4 Численный анализ графов состояний СПП с помощью временных графов	60
3.5 Структура и организация программного пакета СИМПАТ	64
3.6 Анализ процессов в тиристорных преобразователях постоянного тока с помощью пакета программ СИМПАТ	73
4. АНАЛИЗ УСТАНОВИВШИХСЯ ПРОЦЕССОВ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СХЕМАХ	79
4.1 Основные проблемы анализа установившихся режимов	79
4.2 Макромоделирование установившегося процесса методом нескольких периодов	80
4.3 Макромоделирование преобразователей методом одного периода	84
4.4 Макромоделирование преобразователей методом одного периода без деактивации источников	88
4.5 Моделирование квазиустановившихся процессов преобразователя с использованием метода Ньютона-Рафсона	89
5. ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРИ АНАЛИЗЕ ПРОЦЕССОВ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СХЕМАХ	94
5.1 Использование оптимизационных методов в среде электронных таблиц	94
5.2 Использование средств MATLAB при анализе системы подавления высших гармоник в тяговом выпрямителе	96
5.2.1 Постановка задачи	96
5.2.2 Разработка модели многофазного выпрямителя	99
5.2.3 Симплекс и его работа, реализация в MATLAB	103
5.2.4 Организация программы поисковой оптимизации и реализация ее в MATLAB с использованием Simulink-модели	106
5.2.5 Компьютерные эксперименты и результаты моделирования	106
5.3 Оптимизация процессов в тиристорном компенсаторе реактивной мощности ...	109
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ	112

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

Ягуп Валерій Григорович

Ягуп Катерина Валеріївна

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ТА УСТАЛЕНИХ
ПРОЦЕСІВ В ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Монографія

(Рос. мовою)

Редактор *С. В. Тимощук*

Комп'ютерне верстання *Н. В. Зражевська*

Комп'ютерний дизайн *І. П. Шелехов*

Підп. до друку 19.10.2011

Друк на ризографі.

Зам. №

Формат 60×84 1/16

Ум.-друк. арк. 7,8

Тираж 500 пр.

Видавець і виготовляч:

Харківська національна академія міського господарства
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12.05.2011 р.